Complejidad urbana

Beatriz Brieva de la Orden
Madrid (España), marzo de 2010.[1]

Índice General

---

1 Definiciones

Complejidad. Expresión del conjunto de especies presentes, de sus abundancias respectivas y de sus interacciones y como se integran sobre el tiempo y el espacio.

MARGALEF (1991)

> *Urbano, na. Perteneciente o relativo a la ciudad.*

DICCIONARIO REAL ACADEMIA

2 Cuestiones clave

2.1 La complejidad

El pensamiento complejo

El *pensamiento complejo*, como epistemología, es un método para la construcción del conocimiento sobre cualquier fenómeno, teniendo como base la forma y dinámica de cómo está tejido dicho fenómeno en sí y con respecto a otros fenómenos, con el fin de comprenderlo y explicarlo en sus procesos de orden, desorden y reorganización, mediante el análisis disciplinario, multidisciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario.

La *complejidad* surge como ciencia posnormal, o ciencia no clásica, al no poder reconocer los objetos de estudio como realidades absolutas e independientes del sujeto y encontrarse en un contexto de incertidumbre e indeterminismo. Así, los organismos y ecosistemas no pueden ser estudiados por el paradigma de la ciencia clásica, ya que son abiertos, irreversibles e indeterministas.

Para MORIN (1740) la hiperespecialización del conocimiento fragmentó el tejido complejo de la realidad y propuso la creencia de que el corte arbitrario que producía en el conocimiento se correspondía con la realidad misma. Es por ello que promulga la idea de la "multidimensionalidad", la cual nos lleva a la idea de que toda visión especializada, parcial, es pobre y debe ser religada a otras dimensiones; de allí surge la tendencia a identificar complejidad con completud (conocimiento completo). Para el autor, la aspiración a la complejidad lleva en sí misma la aspiración a la completud porque sabemos que todo es solidario y multidimensional; pero la conciencia de la complejidad nos lleva a comprender que no podremos escapar jamás de la incertidumbre y que jamás tendremos un saber total: «la totalidad es la no verdad».

EDGAR MORIN (1974) en su *Introducción al pensamiento complejo* habla de escapar de la alternativa entre el pensamiento reductor, que no ve más que los elementos, y el pensamiento globalista, que no ve más que el todo e incluye tres principios:

1. El **principio dialógico**, que conecta ideas antagónicas entre sí «...lo contrario de una verdad profunda es otra verdad profunda».
2. El **principio de recursión organizativa** (los bucles), que a la realimentación añade la autoorganización o autopoiesis.
3. El **principio hologramático**, para describir el reflejo del todo en la parte y viceversa.

La transdisciplinariedad

> *No podemos pensar fenómenos complejos con principios simples. No podemos pensar problemas nuevos con métodos viejos.*

MORIN (1974)

Debemos gestionar de forma eficiente la complejidad con métodos complejos: interaccionales, globales (no totalizadores), dialógicos, que practiquen el vaivén entre el análisis y la síntesis y relacionen el texto y el

contexto. Debemos tener sentido de la *transdisciplinariedad*, siendo ésta, ante todo, una disciplina de pensamiento. Se tratará lo transdisciplinar, por lo tanto, del producto de un pensamiento complejo, que no sólo nos ayude a relacionar lo separado; que no sólo ponga en movimiento lo clausurado sobre sí mismo, sino que al ir más allá de la interrelación, lo transforma. La transdisciplinariedad no niega lo disciplinar, como hemos dicho, parte de ello, pero lo relativiza; organiza en un saber de un nuevo tipo los diferentes saberes. Por todo ello, lo transdisciplinar es el orden del saber complejo.

La teoría de la comunicación

El concepto de información surgió con **Hartley** y, sobre todo, con **Shannon y Wenner** (1949), en su aspecto, por una parte, comunicacional (se trataba de la transmisión de mensajes y se ha encontrado integrada en una Teoría de la Comunicación); por otra parte, en su aspecto estadístico (basado en la probabilidad o, más bien, la improbabilidad de aparición de tal o cual unidad elemental portadora de información, o *binary digit*, *bit*[2]).

Su primer campo de aplicación fue su campo de emergencia: la telecomunicación. Pero muy rápidamente la transmisión de información tomó, con la cibernética, un sentido organizacional; de hecho, un *programa* portador de información no hace más que comunicar un mensaje a un ordenador que computa cierto número de operaciones. De ese modo, la célula puede ser cibernetizada y el elemento clave de esa explicación cibernética se encuentra en la información.

Una teoría de origen comunicacional es aplicada a una realidad de tipo organizacional. Y, en esa aplicación, hace falta considerar a la información organizacional, ya sea como memoria, como mensaje, como programa, *o más bien como todo eso a la vez*. Más aún: si la noción de información puede, por una parte, integrarse en la noción de organización biológica; también puede, por otra parte, ligarse de manera sorprendente a la termodinámica, es decir a la física y a la biología, consiguiendo alcanzar la *transdisciplinariedad*.

El aspecto estadístico ignora, incluso desde la perspectiva comunicacional, el *sentido* de la información, no aprehende más que el carácter probabilístico e improbabilístico, olvidándose de la estructura de los mensajes y, por supuesto, del aspecto organizacional.

La teoría shannoniana se ocupa del nivel de la entropía, de la degradación de la información (**Morin**, 1974).

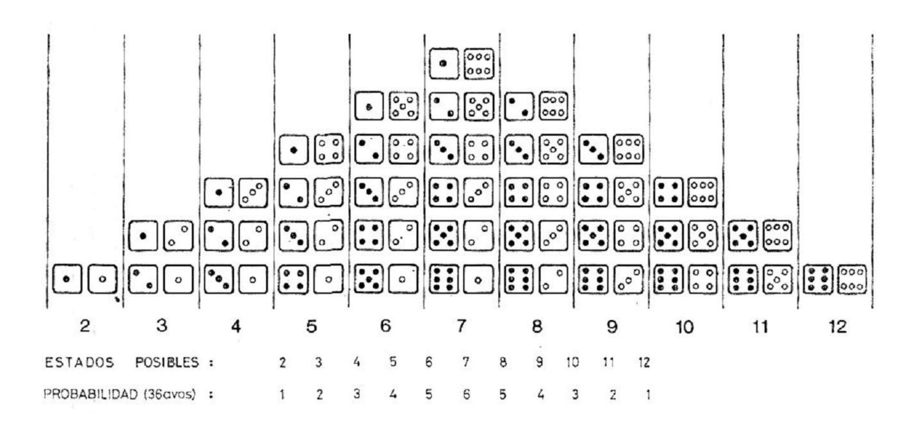


Figura 1: Ejemplo de los dados para explicar el concepto de entropía de Shannon

Fuente: **Crowther** (1974).

Shannon y Wenner[3] estudian la información en dos pasos: primero, miden la complejidad de aquello que se examina (el mensaje, el sistema, la configuración, la asociación de especies o la asociación de profesiones, etc.); segundo, especifican la complejidad de la combinación concreta, si es conocida.

En ecología, son muy útiles los estudios introducidos por **Margalef** (1991) del contenido de la información asociado a la composición de las especies. La información específica se utiliza como un *índice de la diversidad* (H). Considera la muestra como un mensaje a la que aplica una medida de información, de tal forma que no existen relaciones fijas entre las cantidades de las distintas especies que entran en la muestra.

> *Las estructuras complejas son portadoras pasivas de información.*
>
> **Margalef** (1991)

Ecologia urbana: Ecosistema urbano

La *Ecología urbana* es una disciplina cuyo objeto de estudio son las interrelaciones entre los habitantes de una aglomeración urbana y sus múltiples interacciones con el ambiente. Es una disciplina con un cuerpo teórico en formación que aplica conceptos y teorías de la ecología tradicional, pero que se nutre con el diálogo con otras disciplinas (urbanismo, economía, antropología, geografía, ingeniería, derecho e historia). Surge, sin duda, como una reacción contra la excesiva especialización de cada una de las áreas de conocimiento. Las investigaciones ecológicas sobre los sistemas urbanos han aportado conocimiento, desde un punto de vista sistémico, respecto a la naturaleza de la ciudad que posibilita acciones sobre bases científicas.

El concepto de *ecosistema*[4], aplicado a la ciudad, permite acceder a un enfoque globalizador que facilita pensar la estructura de una ciudad (y fundamentalmente a pensar en su funcionamiento), a través de procesos ecosistémicos que involucran distintos aspectos relacionados con el intercambio de materia y el flujo de energía.

2.2 La ciudad como elemento complejo

La ciudad es, como los seres vivos, un sistema cuya organización está basada en la integración e interacción de unidades diferentes, antagónicas y complementarias, cuyas funciones individuales y actividades conjuntas y derivadas de la propia complementariedad suponen la propia esencia del sistema complejo.

Christopher Alexander (1965) en *La ciudad no es un árbol*, planteó que el diseño urbano no puede originarse en un simple proceso de decisiones sucesivas que se bifurcan como ramas; la ciudad es un semientramado, término matemático que viene a significar que la forma urbana proviene de un tejido enredado de elecciones y azares. El rechazo del patrón arborescente es una crítica del mecanicismo tecnocrático y a la vez una defensa de la complejidad de los organismos urbanos.

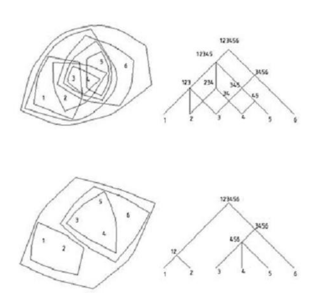


Figura 2: Diagramas de estructuras de árbol y semientramado

Fuente: **Alexander** (1965)

> *La falta de complejidad estructural, característica del árbol, paraliza nuestro concepto de ciudad.*
>
> **Alexander** (1965)

Según **José Fariña** (1995), una ciudad es por definición (entre otras cosas) un *código*, o un conjunto de códigos. La ciudad se caracteriza por un modo de vida urbano, y un modo de vida no es más que un sistema, en definitiva, un código. Destruimos el concepto mismo de ciudad si introducimos en ella el de equiprobabilidad total. La realidad es que allí donde se pueda establecer un sistema de probabilidades existirá un código que puede ser conocido o no.

La ciudad crea sus propias condiciones intrínsecas ambientales, lumínicas, de paisaje, geomorfológicas, etc independientemente de las de su entorno y con sus características particulares propias. Por lo tanto, el concepto general del *ecosistema urbano* estaría constituido por todos los factores que se enumeran a continuación:

- *Climáticos: temperatura, humedad, y viento.*
- *Físicos: nueva geomorfología territorial.*
- *Lumínicos: consideraciones relativas a la luz.*
- *De equilibrio ambiental: ruidos, vibraciones, etc.*
- *Paisajísticos: con el medio circundante.*
- *Sociales y psicológicos: de relaciones interpersonales urbanas.*

Higueras (1997)

El término *diversidad* es utilizado en numerosas ocasiones con referencia a diferentes aspectos de la ciudad. Hay una diversidad morfológica (de planos, tramas urbanas, edificios, estilos constructivos, etc.), una diversidad económica y social de las poblaciones urbanas, una diversidad de funciones, etc.

Con el concepto de diversidad guardan relación una abundancia de términos, no siempre bien precisados —como son la heterogeneidad, la segmentación, la división del trabajo, la diferenciación de roles, la especialización, etc.—, cuyo parentesco entre sí tiene su origen en el trasfondo teórico de las ciencias sociales, e incluso en la biología y en la ecología. La diversidad es así una característica fundamental y definitoria de los asentamientos urbanos, aunque muy pocas veces suele constituir un objeto primario de estudio.

En el caso de los estudios de estructuras de actividad en los sistemas urbanos, la diversidad suele ser una cualidad residual de las ciudades más que un punto de interés. El planteamiento básico que subyace a estos estudios deriva de los principios de la *ecología urbana*: dentro de un sistema urbano regional existe una división del trabajo mediante la cual cada ciudad o asentamiento se especializa en unas determinadas actividades con las que contribuye a la economía de la región. Estas actividades constituyen la razón de ser de un asentamiento dentro del sistema general. Aquellas ciudades en las que no destaca ninguna actividad especial tienen estructuras *diversificadas*.

La *complejidad*[5] de los sistemas urbanos puede analizarse, en parte, haciendo uso del concepto de *diversidad*. Los organismos vivos, y sobre todo el hombre y sus organizaciones, son portadores de información y atesoran de forma dinámica en el tiempo características que nos indican el grado de acumulación de información y la capacidad que tienen para influir significativamente en el presente y controlar el futuro. De hecho, la diversidad que se puede encontrar en un sistema vendrá dada por el número de especies diferentes en relación al número de individuos de cada una de ellas. Las variables discretas en los sistemas urbanos, las que hacen el papel de las especies en los sistemas naturales, son esencialmente atributos que tienen los individuos o las actividades que atesoran la información dinámica con relaciones multivariadas (de cooperación, de competencia, etc).

En los procesos de toma de decisiones siempre se han utilizado modelos (representaciones del problema en cuestión), pero generalmente estas representaciones han sido expresadas a través de exposiciones verbales o escritas, las cuales no garantizan la ausencia de contradicciones, especialmente en el caso de fenómenos complejos en los cuales todos los elementos que lo constituyen se encuentran relacionados entre sí. Los modelos matemáticos, en cambio, permiten ver claramente las hipótesis en que se basan, posibilitando así la crítica objetiva, ordenada y acumulativa de las interpretaciones de fenómenos.

El propósito fundamental de un *modelo* es prever un cuadro simplificado e inteligible de la realidad, con el fin de comprenderla mejor (**Echenique**, 1975).

3 Generadores de complejidad

Jane Jacobs (1961), en su libro *Vida y muerte de las grandes ciudades*, ya anticipaba la importancia de la complejidad urbana, que más tarde se entenderá como uno de los ejes articuladores de las ciudades sostenibles; «una mezcla de usos, siempre y cuando sea lo bastante compleja para sostener la seguridad urbana, el contacto público y la compilación de funciones y actividades, necesita una enorme diversidad de ingredientes». En su libro propone cuatro generadores de complejidad en las calles y distritos:

- El distrito, y cuantas más partes del mismo como sean posibles, ha de cumplir más de una función primaria. Estas han de garantizar la presencia de personas fuera de sus respectivos hogares, en diferentes circunstancias y por motivos diferentes, pero dispuestas a usar en común una amplia gama de servicios.
- La mayoría de los bloques de casas han de ser pequeños, cortos; y ello a fin de procurar frecuentes posibilidades de doblar esquinas y calles.
- El distrito ha de contener una mezcla de edificios, tanto en lo referente a su edad como a su condición, incluyendo por supuesto una alta proporción de casa antiguas, de forma que representen una gran variedad en su rendimiento económico. Esta mezcla ha de ser bastante compacta.
- Ha de haber también una concentración humana suficientemente densa, sean cuales fueren los motivos que impulsan a los individuos que están allí. Esto requiere también una densa concentración de personas presentes en dichos lugares por ser estos su residencia habitual.

En 2007 la *Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible* (creada a petición de las redes de *Agenda Local 21*, que engloba 2.422 municipios) y el propio *Ministerio de Medio Ambiente* impulsaron la creación del *Libro Verde del Medio Ambiente Urbano* (**MARM**, 2007), que pretende ser el marco de referencia y la guía para construir y reconstruir nuestras ciudades con criterios de sostenibilidad, además de incluir conceptos e instrumentos novedosos que recomendarán a cambios normativos, económicos y sociales. En el libro se dan unas pautas de gestión de la complejidad:

- Ofrecer soluciones a los retos de la sociedad del siglo XXI: sostenibilidad y sociedad del conocimiento.
- Asumir el modelo de ciudad mediterránea, compacta, compleja, eficiente y cohesionada socialmente.
- Adoptar un enfoque sistémico de la realidad que permita gestionar la creciente complejidad urbana.
- Promover una organización intergubernamental y transversal que contemple los principios de la gobernanza: apertura, participación, eficacia, responsabilidad y coherencia.
- Establecer mecanismos de formación (reglada y no reglada) y aprendizaje continuos, capaces de afrontar un nuevo enfoque.

4 Indicadores relacionados con la complejidad

Se han seleccionado del *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla* desarrollados por la *Agencia de Ecología Urbana* (**Rueda**, 2007) los indicadores que hacen referencia a la complejidad urbana.

4.1 Complejidad urbana

El objetivo es establecer una mixticidad de usos mínima en los nuevos tejidos urbanos. Potenciar el modelo de ciudad compleja, con actividades densas en conocimiento. Establece una diversidad urbana superior a 6 *bits* de información por individuo en áreas de nueva centralidad (áreas comerciales y de oficinas, corredores ferroviarios y estaciones de metro), y en el resto del área de actuación una diversidad superior a 4 *bits*.

$$\underline{H(x)} = - \sum_{i=1}^{n} P(x_i) \times \log_2 P(x_i) \ (*)$$

(*) Malla referencia

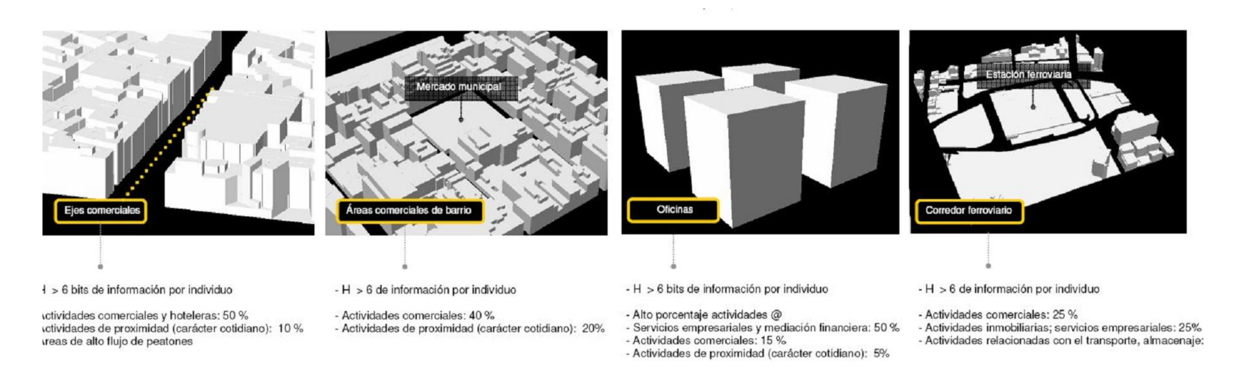


Figura 3: falta nombre

Fuente: **Rueda**, 2007, *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona*

4.2 Reparto entre actividad y residencia

El objetivo es establecer la obligatoriedad de tener espacios en planta baja (salvo excepciones) para la implantación de actividades económicas u otras personas jurídicas. Se establecerán en plantas superiores, también, los usos compatibles con la vivienda con el fin de acoger una determinada densidad de actividades. El aprovechamiento (m^2c) de uso de servicios terciarios, servicios avanzados y equipamientos y servicios públicos es superior al 20%, en relación al total del aprovechamiento lucrativo

$$\underline{SPJ} = 100 \times ((m^2c_{servicios})/(m^2_{totales}(*)))$$

(*) Malla referencia

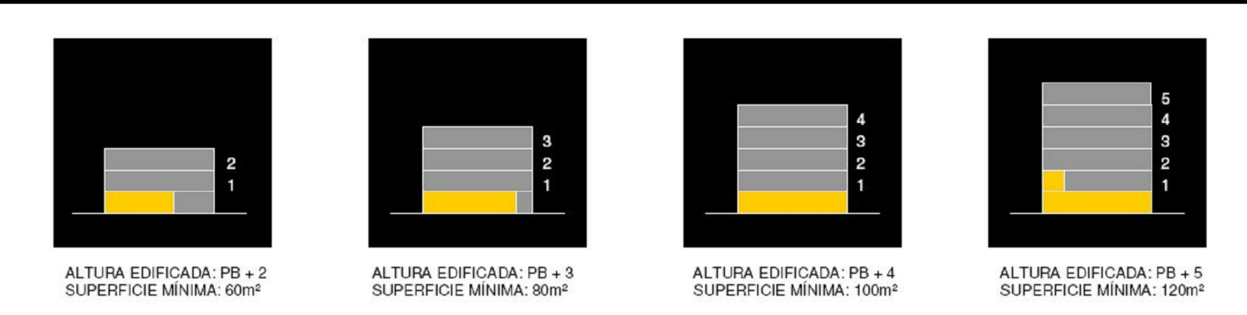


Figura 4: buscar nombre

Fuente: **Rueda**, 2007 *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona*

4.3 Dimensionado de locales comerciales en planta baja

El objetivo es establecer un porcentaje de superficie mínima y máxima para usos relacionados con las personas jurídicas. Se dividen las plantas destinadas a locales, con superficies útiles a partir de 50 m^2 y hasta un máximo de 200 m^2. Se aplica al 80% de los locales ubicados en edificios con uso principal residencial.

DL = $100 \times ((\text{locales}_{\text{sup}(50\text{-}200)})/(\text{locales}_{\text{totales}}(*)))$

(*) Malla referencia

4.4 Actividades comerciales de proximidad

El objetivo es asociar al espacio residencial los servicios de proximidad necesarios para la vida cotidiana para así evitar tejidos residenciales sin comercio de proximidad, sin posibilidad de empleos de proximidad, sin servicios mínimos del estado del bienestar (educación, salud, ocio, deporte, etc). El aprovechamiento (m^2c) para uso exclusivo de comercio al por menor y destinado al ejercicio de actividades cotidianas es superior al 10%, en relación al total del aprovechamiento lucrativo.

AP = $100 \times ((m^2c_{\text{comercio prox}})/(m^2_{\text{totales}}(*)))$

(*) Malla referencia

4.5 Actividades densas en conocimiento

El objetivo es potenciar la implantación de actividades densas en conocimiento. Potenciar y facilitar los entornos que atraigan colectivos con sensibilidades generadoras de creatividad y dinamismo urbano. El aprovechamiento (m^2c) para uso exclusivo de servicios avanzados (tecnologías de la información y las comunicaciones, servicios empresariales cualificados e investigación y desarrollo y producción en sectores emergentes) es superior al 10%, en relación al total del aprovechamiento lucrativo

A@ = $100 \times ((m^2c_{\text{servicios},@})/(m^2_{\text{totales}}(*)))$

(*) Malla referencia

5 Método de cálculo

5.1 Aplicación de la Teoria de la comunicación

El valor de H es la medida de la información contenida en un mensaje y se calcula con la fórmula de Shannon procedente de la Teoría de la información. H es la diversidad y su unidad es el *bit* de información por individuo. $P(x_i)$ es la probabilidad de ocurrencia e indica el número de miembros que cumplen una peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad. La máxima H se obtiene con la diferenciación máxima de los portadores de información y la máxima equifrecuencia de cada uno de ellos. Se trata de saber el número de portadores de información, con capacidad de contacto, en cantidad y diversidad, en un mismo espacio. Los portadores de información del sistema urbano son las personas jurídicas clasificadas por categorías: actividades económicas, entidades e instituciones, capital social y capital económico.

Fórmula de Shannon

$\underline{\mathbf{H(x)}} = - \sum^{n}_{i=1} P(x_i) \times \mathbf{log_2} P(x_i)$ (*)

(*) Malla referencia

Donde:

$\underline{\mathbf{P(x_i)}} = (Nx_1)/(N)$

$P(x_1)$ es la abundancia relativa de cada especie.
$N(x_i)$ es el número de individuos de la especie i.
N es el número total de individuos (personas jurídicas) de la comunidad.

5.2 Entidades

Entidades necesarias	Geometría	Información necesaria
Personas jurídicas	punto	código de especie (tipo de persona jurídica), descripción de especie, calle, número postal, piso, localización en planta baja, superficie declarada.
Malla de referencia (*grid*)	área	área

La fuente de datos de personas jurídicas generalmente proviene de las clasificaciones estadísticas oficiales de:

- Clasificación del Impuesto de actividades económicas (IAE). El organismo responsable es el *Ministerio de Economía y Hacienda* y la referencia normativa el *Real decreto-ley 4/1990 de 28 de septiembre*
- Clasificación nacional de actividades económicas (CNAE). El organismo responsable es el *Instituto Nacional de Estadística* y la referencia normativa el *Real Decreto 330/2003 de 14 de marzo*.

El primer paso consiste en geocodificar las personas jurídicas por calle y número postal o por parcela. El callejero de la ciudad permite realizar una geocodificación de direcciones y así relacionar cada persona jurídica con un número postal.

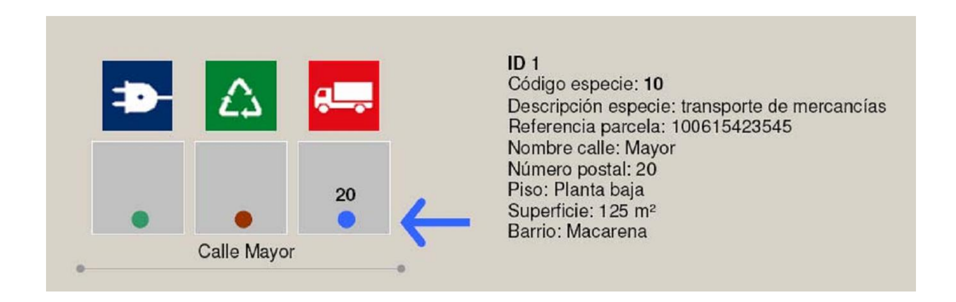
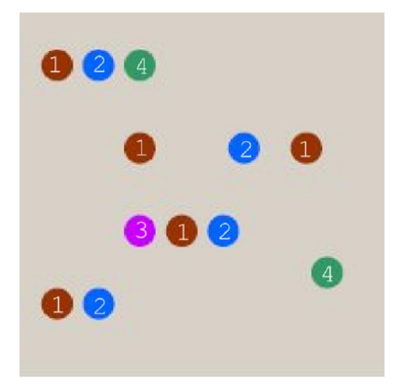


Figura 5: Información asociada a las personas jurídicas

Geocodificación por dirección postal. Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

5.3 Ejemplo de cálculo de la complejidad urbana



Especie 1: 5 personas jurídicas

Especie 2: 4 personas jurídicas

Especie 3: 1 personas jurídicas

Especie 4: 2 personas jurídicas

Figura 6: Complejidad urbana en un *grid* de 200 x 200 metros

Como vemos en la FIGURA 6, para un *grid* de 200 x 200 metros de ancho de celda, se hallan 12 personas jurídicas de 4 especies diferentes.

Especie 1:

$\mathbf{P(x_i)}$ = 5/12 = 0,416

[personas jurídicas de la especie 1 dividido entre las personas jurídicas totales]

$\mathbf{log_2 P(x_i)}$ = **log** 0,416 / **log** 2 = -1,26

$\mathbf{\sum P(x_i) \times log_2 P(x_i)}$ = 0,416 ×-1,26 = **-0,526**

[resultado parcial de la especie 1]

Especie 2:

$\mathbf{P(x_i)}$ = 4/12 = 0,33

[personas jurídicas de la especie 2 dividido entre las personas jurídicas totales]

$\mathbf{log_2 P(x_i)}$ = **log** 0,33 / **log** 2 = -1,59

$-P(x_i) \times \log_2 P(x_i)$ = 0,33 × -1,59 = **-0,527**

[resultado parcial de la especie 2]

Especie 3:

$P(x_i)$ = 1/12 = 0,083

[personas jurídicas de la especie 3 dividido entre las personas jurídicas totales]

$\log_2 P(x_i)$ = **log** 0,083 / **log** 2 = -3,58

$-P(x_i) \times \log_2 P(x_i)$ = 0,083 × -3,58 = **-0,297**

[resultado parcial de la especie 3]

Especie 4:

P(i) = 2/12 = 0,16

[personas jurídicas de la especie 4 dividido entre las personas jurídicas totales]

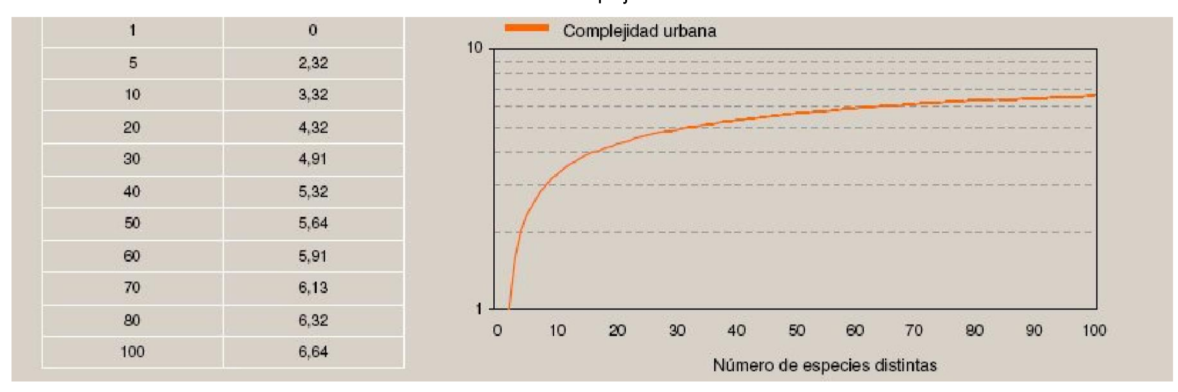
$\log_2 P(x_i)$ = **log** 0,16 / **log** 2 = -2,58

$-P(x_i) \times \log_2 P(x_i)$ = 0,16 × -2,58 = **-0,413**

[resultado parcial de la especie 4]

H = (-0,526 + -0 527 + -0 297 + -0 413) × (-1) = 1,763 *bits*/individuo

Al incrementar el número de especies (diversidad) o al distribuirse las personas jurídicas de forma más equifrecuente entre las especies, el índice de diversidad va aumentando. La complejidad se mide en una escala logarítmica. Un incremento de una unidad significa el doble de diversidad. Cuando la H es elevada, la probabilidad de encontrar una especie al azar disminuye (número de especies elevado). Al contrario, cuando hay pocas especies en un espacio delimitado, la probabilidad de encontrar una especie es muy elevada, y por lo tanto, la complejidad es baja.



1	0
5	2,32
10	3,32
20	4,32
30	4,91
40	5,32
50	5,64
60	5,91
70	6,13
80	6,32
100	6,64

Figura 7: Complejidad en relación al número de especies

Fuente: **Rueda**, 2007, *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona*

5.4 Procesos del Sistema de Información Geográfica

Los pasos necesarios para el cálculo de la complejidad mediante un Sistema de Información GeográficaSIG son los siguientes:

1. Intersección espacial entre la entidad *personas jurídicas* y *grid*. De esta forma asociamos a cada persona jurídica el ID de la malla de referencia (ID_{grid}).
2. Cuenta de las personas jurídicas totales para cada malla de referencia (combinación analítica de las personas jurídicas según el atributo de ID_{grid})
3. Cuenta de las personas jurídicas por cada especie y para cada malla de referencia (combinación analítica de las personas jurídicas según el atributo ID_{grid} y especie).
4. Consultas de atributos funcionales con el fin de aplicar la fórmula del indicador.

El resultado es un mapa temático con los valores de complejidad urbana H desglosados según rangos cuantitativos. El mapa se representa sobre una malla de referencia con el tamaño variable según el tejido y las dimensiones de la ciudad.

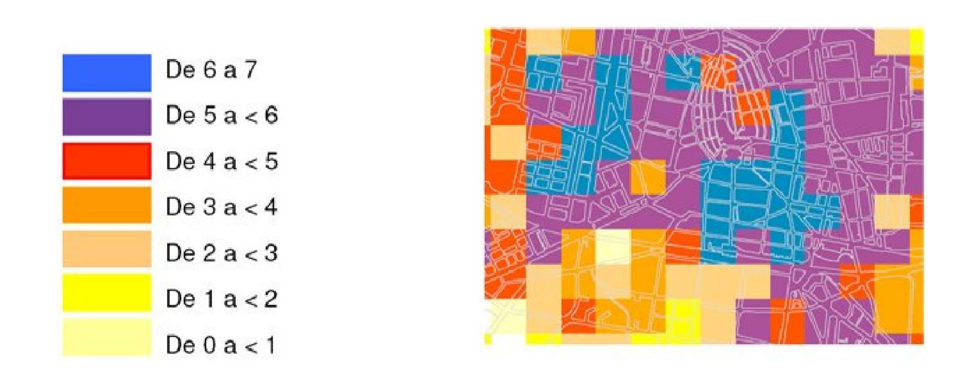


Figura 8: Bits de información por individuo

Fuente: **Rueda**, 2007, *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona*

6 Bibliografía consultada

Alexander, Christopher (1965) «A City is not a Tree», *Architectural Forum*, número 1, volumen 122. Se cita la versión castellana (1970) *La ciudad no es un árbol.* Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Disponible también en http://habitat.aq.upm.es/boletin/n40/acale.es.html

Echenique, Marcial (1975) *Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: aplicaciones en América Latina.* Buenos Aires: Ediciones SIAP.

Fariña, José (1995) «Cálculo de la entropía producida en diversas zonas de Madrid.», *Cuadernos de Investigación Urbanística*, número 10, Universidad Politécnica. http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/public/ciu/pdf/ciu10/

Higueras, Esther (1997) "Situación actual del ecosistema urbano", en *Urbanismo bioclimático. Criterios medioambientales en la ordenación de asentamientos.* Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Disponible en http://habitat.aq.upm.es/ub/lista.html

Jacobs, Jane (1961) *The Death and Life of Great American Cities* New York: Random. Versión castellana (1967) *Muerte y vida de las grandes ciudades.* Madrid: Península.

Juaristi, Joseba (1985) «Sobre diversidad urbana. Estructuras de actividad en las ciudades de la comunidad autónoma del País Vasco», *Lurralde*, investigación y espacio. número 8, Ingeba, disponible en pdf: http://www.ingeba.euskalnet.net/lurralde/index.htm

Margalef, Ramón (1991) *Teoría de los sistemas ecológicos.* Universidad de Barcelona

MARM (2007) *Libro verde sobre el medio ambiente urbano.* Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en pdf: http://www.bcnecologia.net/decourban/libroverde.pdf.

MARM (2006) *Estrategia de medio ambiente urbano* Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en pdf http://www.bcnecologia.net/documentos/estrategia.pdf

Morin, Edgar (1974) *Introduction a la pensee complexe.* Paris: ESF. Se cita versión castellana *Introducción al pensamiento complejo.* Barcelona: Gedisa.

RAE (2004) *Diccionario de la lengua española.* Madrid: Real Academia de la Lengua Española, Espasa-Calpe, http://www.rae.es/rae.html

Rueda, Salvador (2007) *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla* Ayuntamiento de Sevilla; Agencia de Ecología Urbana. http://www.sevilla.org/urbanismo/plan_indicadores/0-Indice.pdf

Rueda, Salvador (2002) *Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja: una visión de futuro más sostenible.* Ayuntamiento de Barcelona; Agencia de Ecología Urbana. Barcelona. http://www.bcnecologia.net/documentos/complejidad.pdf.

Rueda, Salvador () *Un modelo urbano para el desarrollo de ecobarrios.* Barcelona: Agencia de Ecología Urbana, http://www.bcnecologia.net/documentos/Ecobarrios.pdf

Ruiz, Javier (2001) «Sistemas urbanos complejos: acción y comunicación.», *Cuaderno de Investigación urbanística*, número 32, Universidad Politécnica de Madrid, www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/public/ciu/.../ciu32.pdf

Shannon, C.E. y Wenner, W. (1949) *The Mathematical Theory of Information.* Illinois: Urbana.

Notas

[1]: Este artículo forma parte del trabajo de documentación *Glosario de términos clave relacionados con un urbanismo y una arquitectura más sostenibles* realizado en *Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio* de la *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*, desarrollado a lo largo del curso de doctorado *Por una Ciudad más Sostenible. El Planeamiento Urbano frente al Paradigma de la Sostenibilidad* bajo la tutela de **Agustín Hernández Aja**
[2]: «**Bit**. Unidad de medida de información equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables.» (**R.A.E.**).
[3]: **Teorema de Shannon-Hartley**.

La entropía definida por **Shannon**, referida a la teoría de la información, hace referencia a la cantidad media de información que contiene una variable o, en particular, una fuente de transmisión binaria. La información que aporta un determinado valor x_i de una variable aleatoria discreta se define como:

$$I(x_i) = \log_2((1)/(P(x_i))) = -\log_2 P(x_i)$$

Cuando la unidad es el *bit*, se utiliza el logaritmo en base 2 (por ejemplo, cuando se emplea el logaritmo neperiamo se habla de *nats*). La entropía o información media de la variable aleatoria discreta χ se determina como la información media del conjunto de valores discretos que puede adoptar (también medida en *bits*):

$$H(x) = \sum^n_{i=1} P(x_i) \times I(x_i) = -\sum^n_{i=1} P(x_i) \times \log_2 P(x_i) \quad (*)$$

Además de su definición y estudio, **Shannon** demostró analíticamente que la entropía es el límite máximo al que se puede comprimir una fuente sin ninguna pérdida de información.

[4]: «comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de los factores físicos de un mismo ambiente.» **RAE**.
[5]: La idea de complejidad se asocia fácilmente a la idea de probabilidad.

Edición del 7-3-2011
Tajo 4 > http://hi.ee.upm.es/tajo4/z-complejidad-urbana.html